

城市轨道交通线网级智能调度业务需求研究

谭 耿

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//高级工程师)

摘 要 城市轨道交通智能调度可分为线网级智能调度和线路级智能调度 2 个层级。分析了线网级调度指挥与线路级调度指挥间的业务关系,梳理了线网级调度业务内容,对线网行车调度、线网设施设备调度、线网施工管理及线网调度管理信息化 4 个方面进行了重点研究,形成了城市轨道交通线网级智能调度业务需求体系。

关键词 城市轨道交通;线网级调度;业务需求;智能化

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.010

Research on Business Requirements of Urban Rail Transit Network Level Intelligent Dispatching

TAN Geng

Abstract Urban rail transit intelligent dispatching can be divided into network level intelligent dispatching and line level intelligent dispatching. In this paper, the business relationship between network level dispatching and line level dispatching is analyzed, contents of network level dispatching business are sorted out by focusing on rail transit network train operation dispatching, network facilities and equipment dispatching, network construction management and network dispatching management information four aspects. Finally, a business requirement system of urban rail transit network level intelligent dispatching is formed.

Key words urban rail transit; network level dispatching; business requirement; intelligence

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》^[1]提出了“1-8-1-1”的智慧城轨发展蓝图,“8”是指八大体系,其中包含了智能运输组织。智能调度作为智能运输组织的主要组成部分,是城市轨道交通运营生产中的重要工作内容。调度指挥按层级可分为线网级调度指挥和线路级调度指挥,其中城市轨道交通成网后的线网级智能调度是智能调度研究的重点。

为此,本文从线网级智能调度业务需求角度进行分析研究。

1 线网级调度指挥业务

1.1 线网级调度指挥与线路级调度指挥间的业务关系

线网级调度指挥(以下简称“线网级调度”)主要负责统筹线网运营生产、制定线网运营规则、监控线网运行状态、开展线网应急协调指挥等。

线路级调度指挥(以下简称“线路级调度”)主要负责统筹线路运营生产、制定线路运营规则、指挥和调整列车运行、监控运营设备状态、处置应急状况等。

线网级调度与线路级调度的业务关系是统筹管理与自主执行的关系,如表 1 所示。二者业务关系的交互方式有两种:一是通过线网级调度系统与线路级调度系统间接口直接进行业务信息的传递,二是业务通过调度人员语音沟通报送和调度指令单下达。

1.2 线网级调度业务

线网级调度是整个城市轨道交通线网的控制中枢,其业务主要包括^[2]:① 制定线网级运营规则,包括制定线网级行车及客运规章制度,编制线网级应急预案;② 编制线网列车运行图,特别是互联互通跨线运行的列车运行图;③ 监测线网行车及客流情况,协调各线路调度,以配合调整运营组织;④ 监控线网供电情况,协调各线路电力调度;⑤ 监控重要设备状态,指导处置设施设备故障;⑥ 收集并发布影响线网运营的故障信息,跟踪故障处置进度,启动应急响应,联动线路调度协调处置故障;⑦ 协调线网间各线路轨道维护作业及设备维护作业(特别是跨联络线维护作业),协调指挥列车跨线转场作业;⑧ 发布重要预警、指令信息;⑨ 与上级部门及公共交通部门进行协调沟通,对外发布重要运营信息;⑩ 对线网运营情况进行汇总统计、分析总结,

表 1 线网级调度与线路级调度间主要业务关系

Tab.1 Main business relationship between network level dispatching and line level dispatching

序号	线路级调度业务	线网级调度业务
1	开展线路行车控制,向线网发送 ATS(列车自动监控)行车信息	整合线网 ATS 行车信息,监控线网行车状态
2	开展线路供电调度,向线网发送供电信息	整合线网供电信息,监控线网供电状态
3	开展线路环境控制调度,向线网发送重要设备设施状态信息	整合线网重要设备设施状态信息,监控设备设施状态
4	开展线路视频监控,向线网发送视频监控信息	整合线网视频监控信息,监控线网重要地点画面
5	统计线路客流信息,向线网发送客流数据信息	整合线网客流数据信息,对数据进行汇总、统计及发布
6	统计线路运营指标,向线网发送运营指标信息	整合线网运营指标信息,对指标进行汇总、统计及发布
7	开展正线轨道维护作业及设备维护作业,向线网发送维护作业信息,尤其是需跨线作业信息	整合线网维护维修作业信息,协调跨线维护作业
8	根据线网列车运行图编制线路列车运行图	编制线网列车运行图,特别是互联互通跨线运行的列车运行图
9	根据线网调度指令调整线路运行	根据线网状态向线路发布调度调整指令
10	根据线网应急预案编制线路应急预案	制定线网应急预案
11	与线网级调度语音互通	与线路级调度语音互通
12	与线网级调度办公系统互通	与线路级调度办公系统互通

并预测其发展趋势。

2 线网级智能调度业务需求分析

通过分析线网调度作业的内容和特点,结合信息化、数字化技术手段,梳理、归纳出需要实现智能调度的业务,以提高线网级调度工作效率、提升调度指挥水平。本文主要从线网行车调度、线网设施设备调度、线网施工管理、线网调度管理信息化 4 个方面分析线网级智能调度的业务需求。

2.1 线网行车调度业务的智能化需求

通过分析线网行车调度作业的主要内容,梳理出线网行车智能调度业务主要需求。

2.1.1 线网列车运行图编制的智能化

编制线网列车运行图时,通过采用统一的列车运行图编制系统,综合历史客流数据、大型活动预案、天气等信息,智能编制线网内各线的列车运行图。线网列车运行图编制系统通过与各线路 ATS 系统/TIAS(行车综合自动化系统)的接口实现列车运行图的自动下发和执行。在编图过程中对各线的客流与运力进行推演,对换乘站、重点站等车站在大客流时段可提供的运力进行分析,智能编制与客流需求相匹配的列车运行图,以快速平衡线网间换乘客流,提高乘客服务质量。

通过基于城市轨道交通网络多源客流数据融合技术的精准化计算和智能化分析结果,编制或优化线网列车运行图,可实现线网运力资源的优化配

置和运力运量的精准匹配,提高运输效率,降低绘图人员的劳动强度。

2.1.2 线网列车运行监控的智能化

智能调度应能从多种途径获取客流信息,通过大数据分析,对未来有可能发生大客流的区域及时段进行预测,帮助调度人员提前制定应对措施。

通过与 AFC(自动售检票)系统实时客流^[3]数据接口、车站客流数据接口(站内视频监控分析、基站分析等)、列车客流数据接口(车内视频监控分析、列车轴重分析等)等多个途径,智能调度应能获取线网不同地点的客流数据,包括各车站的进出站客流、换乘站的换乘客流、各列车的断面客流等。在此基础上,应用人工智能及大数据技术分析、清洗出有效的客流数据,在线网指挥中心的大屏上用不同颜色显示各线路的拥挤程度。

智能调度应能结合乘客历史出行轨迹、重大活动客流预测、天气预报、设备故障趋势,以及与城市轨道交通相关的其他交通方式的客流信息等,给出城市轨道交通线网的每日客流预测分析^[4],智能评估线网内的拥堵区段,并将预测评估结果发送给线网调度人员,以达到预警/报警的目的。该分析报告经线网调度确认后,下发给线路运营控制中心,以提前做好大客流的应对。

2.1.3 线网列车运行调整的智能化

铁路站/机场/城市客运站等城市轨道交通线网的重点车站时常会因乘客的不均衡到达引发突

发大客流,给线路的正常运营带来压力。当某一线路发生故障时,可能会给与之相关的换乘站带来突发大客流,进而导致故障从单一线路向线网扩散。线网行车调度应重点关注换乘站和重点车站的大客流情况,协调线间的客流与运力匹配。

根据换乘站、重点车站的大客流情况,智能分析客流拥堵对各线路换乘衔接的影响,将大客流信息自动下发至相关线路调度,帮助相关线路的行车调度提前做好预想,采用如越站、扣车、加开备车等运营调整方案,积极应对大客流。

对于共线运行和跨线运行的线路,智能调度能够协调两线间的调度指挥,采取提前折返、加开列车等手段,以更好地控制设备故障和突发大客流的影响范围。此外,智能调度可根据客流预测的规律和趋势,为大客流车站提供客流控制等级预测报告。该预测报告经线网调度确认后下发至对应的线路控制中心和车站,帮助车站根据不同等级预案采取限流、临时关站等应对措施。

2.1.4 应急调度指挥的智能化

线路发生突发故障时,线路调度将故障信息立即上报线网调度,线网调度需要判断该故障是否对邻线造成影响以及影响范围。线网调度根据实际情况进行决策后,下发联动调度指令予以应对。智能应急调度可根据故障发生地点和故障类型,以及故障区段客流、线网换乘等情况,分析故障处置方案,为调度人员提供单线故障调整、邻线应急调整、跨线应急救援等措施,以及其他城市公共交通给予支援的应急方案。线网调度可根据此建议措施和方案进行联动指挥。

智能应急调度通过对线网突发事件的产生及演变规律、应急处置方案的智能触发及生成、多种交通运输方式协同处置等方面的研究,实现突发事件下对大客流的快速、安全疏散,提高运输指挥和应急反应能力。此外,智能应急调度与智能运维、资产管理等系统进行接口,可查询线网范围内应急抢险物资的分布情况,为线网调度人员提供应急资源调配建议,进而为线网调度组织应急抢险提供支持。

2.1.5 调度辅助决策的智能化

随着线网规模的不断扩大,线网调度员调度指令的作用范围也持续扩充,这使得线网调度人员需要更谨慎地下达调度命令,避免因下发调度命令引起错误的指示。智能调度辅助决策通过大数据处

理、智能分析及构建专家库等方法,为线网调度人员提供满足当前环境的调度决策建议,辅助调度人员进行日常调度指挥,在应急情况下采取相应的处置措施,从而实现调度指挥决策的智能化。智能调度辅助决策系统应能为调度人员制定不同情况下的调度预案,供调度人员学习和操作使用。

智能调度辅助决策系统可将调度人员从繁重的日常工作中解脱出来,将工作重心放在对重点区域的监视上,并在紧急情况下提供智能的应急处置措施,调度人员快速、合理地地下达调度指令,使线网快速恢复至正常运营状态。

2.1.6 综合交通协同指挥的智能化

智能综合交通协同指挥通过与铁路、城市客运、机场、公共交通等部门的接口实现信息互联和数据共享。此外,通过对从这些接口获取的多源客流数据进行融合处理、挖掘分析,研究重要交通枢纽的客流态势演变,实施客流协同管控及综合交通协同调度,提高运输效率,保障行车安全。

在城市轨道交通、市域快轨、城际铁路“三网融合”的基础上,智能综合交通协同指挥可实现城市轨道交通与铁路、民航、公交等多种运输方式之间的协调与衔接,实现运输资源的优化配置、运力运量匹配及联动调度,在城市主管部门协调组织下对公共交通资源进行信息共享和协同运用,使城市公共交通有机融入国家现代化综合交通运输体系中。

2.2 线网设施设备调度业务的智能化需求

线网级调度应对影响行车安全和乘客服务的设施设备进行智能监控,设施设备发生故障时应及时发出报警。

2.2.1 线网级电力调度监控的智能化

线网级智能电力调度应具备以下功能:① 监控主变电所和牵引变电所内主要供电设备的状态,监控线路用电负荷情况;② 当线路发生供电故障时,分析故障影响范围,为调度人员提供应急供电处置方案,协调线网供电应急支援;③ 实时监控主要供电设备的工作状态,在设备故障时发出报警提示,并根据设备状态趋势进行故障预警;④ 监控线网用电负荷情况,协调线路平衡负载,监控跨线支援供电作业,统计线网用电量并进行能耗对比分析,提出线网用电能耗优化建议。

2.2.2 线网级车辆调度监控的智能化

线网级智能车辆调度应具备以下功能:① 对线网内所有列车的设备状态、所处地点及编组情况等

进行监控,协助车辆调度人员合理安排线网各列车上线运行,协助车辆维修人员制定列车检修计划;②实时监控列车设备状态,影响列车运行的重点设备应具备故障报警功能,并能根据设备状态趋势进行故障预警;③实时查看列车所处位置,协助调度人员进行运营调整、制定列车故障救援计划;④合理安排线网内特种车辆(包括工程车、隧道清洗车、钢轨打磨车等)的作业计划。

2.2.3 重要设备设施监控的智能化

线网级智能设备调度应具备以下功能:①对线网内重要机电设备状态进行监控,对影响列车运行、乘客服务的设备进行故障维修作业跟踪;②对防淹门、人防门、电扶梯、隧道风机等机电设备进行实时监控,设备故障时将发出报警提示,并根据设备状态趋势进行故障预警;③监控车站设备工作状态,对一键开关站等重要车站设备的工作情况进行监控,故障设备时可发出报警,跟踪故障设备的检修作业等。

2.2.4 线网级视频监控的智能化

线网级智能视频监控应具备以下功能:①调看线网内任意视频监控录像,并与线路智能视频监控联动,智能推送重要地点、重要事件的视频画面;②与烟感报警器联动,自动推送火灾发生时的视频画面;③与水位传感器联动,自动推送车站出入口、线路区间等重要地点水浸报警视频画面;④与乘客呼叫系统联动,自动推送乘客在求助地点的视频画面;⑤实现人脸识别,协助智能调度系统实现乘客轨迹记录、可疑人员追踪等。

2.3 线网施工管理业务的智能化需求

2.3.1 线网维修施工作业监控的智能化

线网级调度在施工作业中起到监督和协调作用。涉及线间联络线的施工、车辆转场维修等作业时,均应报送线网调度。线网级调度应统筹协调跨线路检修维护作业,制定相应的跨线施工作业方案及应急预案,并在施工作业过程中把握施工进度,确保作业安全。各线路调度应通过智能调度系统提交电子施工作业计划表,智能调度系统应自动检查不同线路间是否存在相同地点、相同时段的作业冲突,并对超时未消点的作业进行提醒。

2.3.2 线网备品备件的智能化管理

依托云平台建立线网备品备件管理系统,各线路、各专业按要求统计并填报备品备件数据,在日

常维护作业时按时准确填报备品备件的使用情况和库存情况。线网调度能够查看全线网备品备件的库存情况,并进行统一管理,有效掌握消耗量和库存情况,动态调整线网间备品备件的备存地点,统计分析其消耗速率,制定合理的采购计划。线网备品备件实现智能管理,将不同线路甚至不同专业之间相同备件进行资源整合,逐步降低全线网备品备件的库存量。对部分备件实施大批量集中采购,降低采购成本,进而有效降低运营成本,实现资源共享。

2.4 线网调度管理信息化业务的智能化需求

依托云平台和大数据技术打通不同的数据壁垒,实现调度命令管理的信息化和运营指标管理的智能化,为线网运营方案的改进和优化提供技术支持。

2.4.1 调度命令电子化

线网调度中心日常发布调度命令及应急调度命令时,基本依靠电话、电台等方式,缺乏信息化手段。为确保调度命令实时有效下发,应完善运营调度指令的电子模板,建设调度命令传输通道,实现行车调度命令电子化下发。

可以通过办公自动化系统或智能调度系统下发电子调度命令,并通过语音识别等技术手段实现语音调度命令的数字化。通过语音和文字滚动信息,在线网调度中心及线路运营控制中心实时播报和显示调度命令,车站值班室可同步播报和接收该调度命令,从而提高调度命令的共享能力。通过调度命令电子化,线网级调度可通过关键词搜索功能快速查询已下发的历史指令,并监视各线路调度岗位对调度命令的执行情况,避免执行错误的调度命令。

2.4.2 运营指标的智能统计及评估

智能调度系统应能依据我国城市轨道交通运营指标体系的相关标准及规范,自动完成线网内各线路各项运营指标的收集和统计,自动开展指标的对比分析,并寻找最优指标对应的调度指挥命令,以协助运营单位稳步提升运营绩效水平。

每日运营结束后,基于当日的实际客流及列车运行表现,对当日列车运行图的执行情况进行分析评估,并输出相关的评估指标,用以持续优化列车运行图。此外,对每日列车开行数和每日能耗情况进行对比分析,可得到各线路牵引能耗与运营车公

里的比值,以及牵引能耗与客运量的比值。通过不断优化调整列车运行图,评估线路能耗及分析线网客流数据的变化趋势,智能调度系统可从中寻找到线网运能与能耗的最优平衡方案。

3 结语

智能调度是智慧城市轨道交通的重要组成部分,是提高城市轨道交通运输效率和智能化水平的关键业务,是国内都市圈/城市群实现城市轨道交通网络化智能运营的核心要素,也是实现轨道交通多网融合、有机融入我国现代化综合交通运输体系的必要前提。

本文通过分析线网级智能调度业务内容,形成了行车调度、设备设施调度、调度作业管理等线网级调度指挥的智能业务需求。后续应结合线网运营调度中心、应急指挥中心的主要工作职责及业务范畴,深入开展线网级智能调度系统架构和功能等方面的研究,以实现智能调度与应急指挥的深度融合,打造适用于多网融合、日常指挥与应急指挥相结合的智能调度系统。

(上接第 42 页)

及以上互联互通线路的线网,方案二和方案四均具有优势,方案四可对故障列车进行更好的处理。

方案二、方案三、方案四均涉及到对电子地图进行“切片”和“订制”,与目前常用的电子地图方案有所不同,故需要进一步研究及开发与这 3 种方案相匹配的软件,同时需要进一步仿真评估采用这 3 种方案对信号系统的影响。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通系统规范 第 3 部分:车载电子地图;T/CAMET 04010. 3—2018[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司,2018:1.
China Association of Metros. Urban rail transit—System specification for interoperability of communication based train control system Part 3: Onboard electronic map; T/CAMET 04010. 3—2018 [S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd.,

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[J]. 城市轨道交通,2020(4): 8.
China Association of Metros. Development outline of intelligent urban rail transit in China[J]. China Metros,2020(4): 8.
- [2] 西安市轨道交通集团有限公司,城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室. 城市轨道交通行车智能调度需求[R]. 西安:西安市轨道交通集团有限公司,2021.
Xi'an Rail Transit Group Company Limited, National Engineering Laboratory of Urban Rail Transit Communication and Operation Control. Requirements for urban rail transit intelligent dispatching of [R]. Xi'an;Xi'an Rail Transit Group Co. Ltd.,2021.
- [3] 黄柒光,李健全. 基于实时客流的城市轨道交通列车自动调整方法[J]. 铁道运输与经济,2021(5):130.
HUANG Qiguang, LI Jianquan. Design and implementation of automatic train adjustment based on real-time passenger flow in urban rail transit[J]. Railway Transport and Economy, 2021(5):130.
- [4] 杨安安,陈艳艳,黄建玲,等. 基于短时客流预测的地铁动态限流预警模型研究[J]. 城市轨道交通研究,2018(10):29.
YANG An'an, CHEN Yanyan, HUANG Jianling, et al. Early warning model of metro dynamic flow limitation based on short-term passenger flow forecasting[J]. Urban Mass Transit,2018(10):29.

(收稿日期:2022-04-10)

2018:1.

- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通接口规范 第 1 部分:应答器报文;T/CAMET 04011. 1—2018[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司,2018:1.
China Association of Metros. Urban rail transit—Interface specification for interoperability of communication based train control system Part 1: Balise protocol; T/CAMET 04011. 1—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2018:1.
- [3] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通系统规范 第 2 部分:系统架构和功能分配;T/CAMET 04010. 2—2018[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司,2018:1.
China Association of Metros. Urban rail transit—System specification for interoperability of communication based train control system Part 2: System architecture and functional allocations; T/CAMET 04010. 2—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2018:1.

(收稿日期:2022-03-14)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn